mgr inż. Wiesław Grzebyk [1)]
dr inż. Lech Stolecki [1)]

Recenzent: dr hab. inż. Witold Pytel

Charakterystyka termodynamiczna fazy gazowej masywu skalnego poddanego procesowi eksploatacji

Słowa kluczowe: deformacja górotworu, procesy termodynamiczne, wstrząsy sejsmiczne

Streszczenie
W artykule omówiono realizowane w KGHM CUPRUM sp. zo.o. CBR prace nad opracowaniem termodynamicznej metody oceny deformacji górotworu, w którym prowadzona jest eksploatacja złoża rud miedzi. Przedstawiono wstępne wyniki pomiarów parametrów termodynamicznych fazy gazowej masywu skalnego stanowiących podstawę wnioskowania o przebiegu procesu deformacji. Poddano analizie ilościowej wielkość mierzonych zakresów zmian ciśnienia i temperatury wykazując, że obserwowane zmiany ciśnienia nie zależą od temperatury, a są efektem zmian objętościowych zachodzących w górotworze.

Wstęp

W ostatnich latach, w KGHM CUPRUM prowadzone są prace nad opracowaniem nowej, efektywnej metody oceny deformacji górotworu poddanego procesowi eksploatacji oraz towarzyszących mu zagrożeń ze strony ciśnienia górotworu. W odróżnieniu od dotychczas stosowanych metod pomiarowych, wnioskowanie dla wyżej wymienionych potrzeb oparto na obserwacji zmian parametrów termodynamicznych masywu skalnego traktowanego jako układ trójfazowy [5]. Ze względu na charakter zjawisk fizyko-mechanicznych zachodzących w górotworze oraz możliwości pomiarowe, obserwacjami objęto fazę gazową układu. Za pomocą specjalnie opracowanego systemu pomiarowego mierzono jednocześnie zmiany podstawowych parametrów termodynamicznych medium gazowego (ciśnienie i temperaturę), a także jego wilgotność. Uzyskane wyniki pomiarów oprócz ich użyteczności pod kątem oceny przebiegu deformacji ośrodka skalnego, pozwoliły na jednoznaczne, od strony fizycznej, odniesienie się do obserwowanych zmian ciśnienia.

1. Termodynamiczna metoda oceny deformacji górotworu

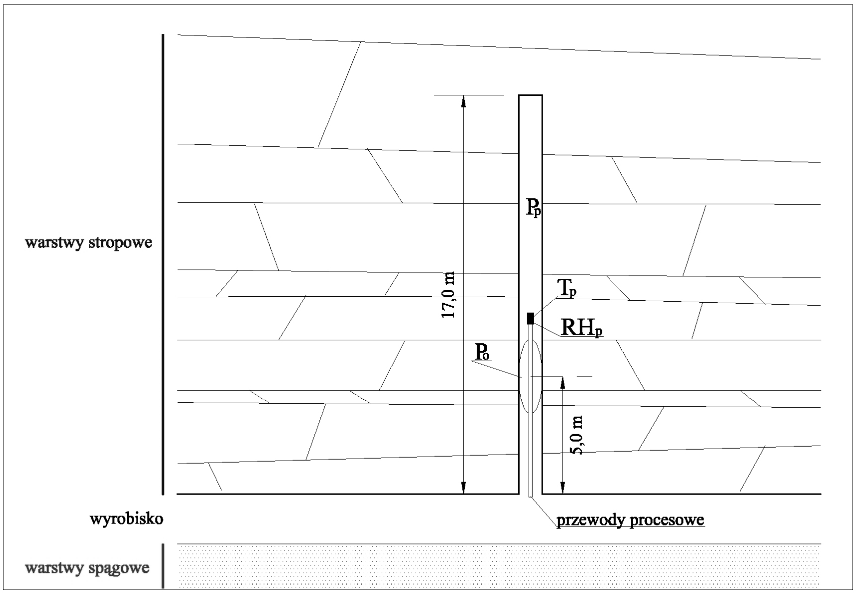
W wyniku prowadzonej eksploatacji złoża rud miedzi LGOM dochodzi, głównie w warstwach stropowych, do powstawania blokowej struktury

---

[1)] *KGHM CUPRUM sp. z o.o. – CBR, ul. gen. Wł. Sikorskiego 2-8, 53-659 Wrocław*

ośrodka skalnego. Płasko zalegające warstwy, czy pakiety warstw, ulegają fragmentacji na bloki skalne o różnej wielkości, które oddzielone są od siebie szczelinami o różnym rozwarciu (w skrajnym przypadku jest to tylko pęknięcie). Przedmiotowe szczeliny wypełnione są medium gazowym, a niekiedy także wodami złożowymi, które migrują w tych szczelinach adekwatnie do aktualnego stanu deformacji górotworu. Tak więc kompresja ośrodka skalnego odpowiadająca zmianie jego objętości lub jej proces odwrotny, będzie przejawiała się zaciskaniem lub poszerzaniem szczelin, a tym samym, wzrostem lub spadkiem ciśnienia medium gazowego wypełniającego te szczeliny.

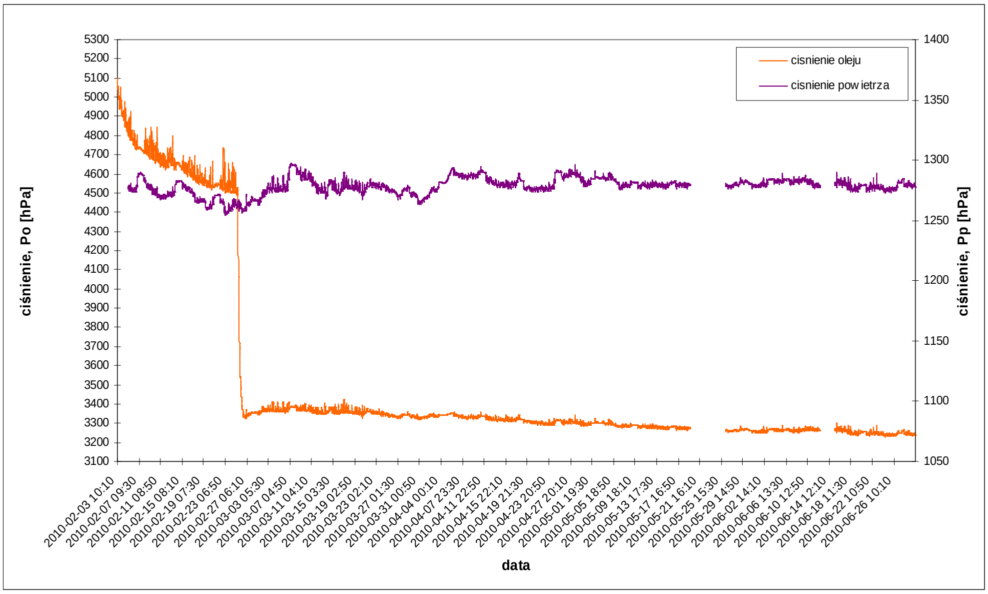
Zmiany parametrów termodynamicznych medium gazowego (P_p) mierzono w wydzielonej części otworu wiertniczego nawierconego w skałach stropowych, w wybranym polu eksploatacyjnym. Pomiary realizowano z wykorzystaniem specjalnej sondy otworowej wprowadzonej do otworu o długości 17 m uszczelnionej na wysokości 5 m nad stropem. Połączenie procesowe medium gazowego wydzielonej części otworu z przetwornikiem ciśnienia (DMP 331i) znajdującym się w wyrobisku kopalnianym odbywało się za pomocą przewodu hydraulicznego. Do pomiaru temperatury (T_p) i wilgotności (RH_p) zastosowano termohigrometr LB-710R, który zamocowano na końcu sondy pomiarowej z wyprowadzeniem przewodu sygnałowego na zewnątrz poprzez dławik. Przedmiotowy układ pomiarowy przedstawiono schematycznie na rys. 1. Rozdzielczość pomiarowa poszczególnych parametrów termodynamicznych wynosiła odpowiednio: dla ciśnienia – 30 Pa, dla temperatury – 0,01℃ i dla wilgotności – 0,1%. Rejestracja odbywała się w sposób quasiciągły, w odstępie co 10 minut.



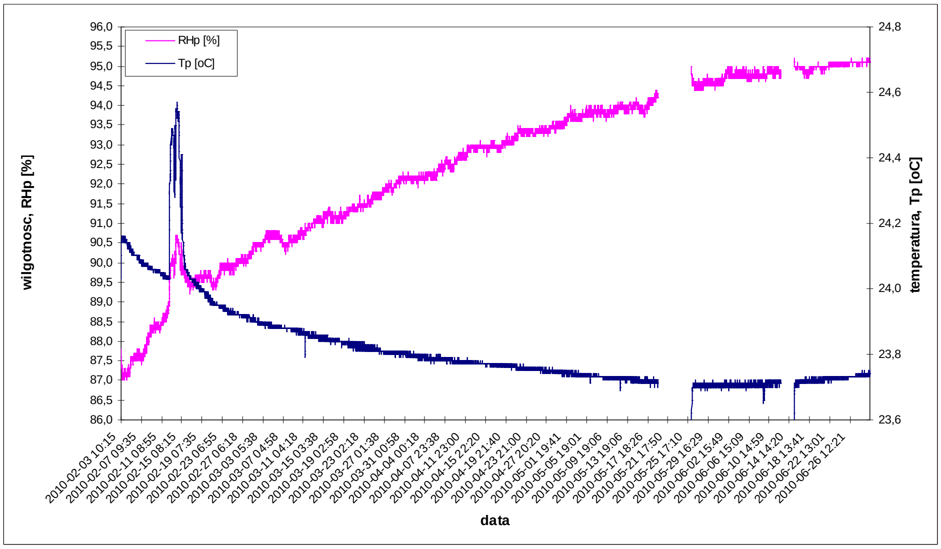
Rys. 1. Schemat układu pomiarowego do rejestracji zmian ciśnienia, temperatury i wilgotności w otworze wiertniczym

2. Wyniki pomiarów

Przedmiotem analizy były wyniki pomiarów ciśnienia, temperatury i wilgotności medium gazowego na stanowisku badawczym wykonanych w okresie od lutego do czerwca 2010 r. Uzyskane wykresy zmienności wymienionych parametrów przedstawiono odpowiednio na rys. 2 i 3. Na rysunku 2 zamieszczono także wykres zmienności ciśnienia oleju (P_o) w zbiorniku uszczelniającym sondy pomiarowej. W trakcie prowadzenia obserwacji ciśnienie medium gazowego wahało się w przedziale od ok. 1270 hPa do 1290 hPa z występowaniem krótkotrwałych oscylacji o amplitudzie około 500 Pa. W tym samym czasie, z wyjątkiem krótkiego odcinka czasu od 12 do 15 lutego, następował powolny spadek temperatury trwający do 26 marca, oraz jej powolny wzrost od 9 czerwca 2010 r. Równocześnie wilgotność w otworze badawczym wykazywała stałą tendencję zwyżkową od ok. 87% do 95,1%, z widocznymi wolnozmiennymi oscylacjami w przybliżeniu pokrywającymi się z występującymi w przebiegu zmian ciśnienia. Obserwowany w miesiącu lutym, skokowy wzrost temperatury i wilgotności nie korelował z mierzonymi zmianami ciśnienia medium gazowego, jak również nie posiadał swojego odniesienia do skali zachodzących przejawów ciśnienia górotworu w badanym eksploatowanym polu.

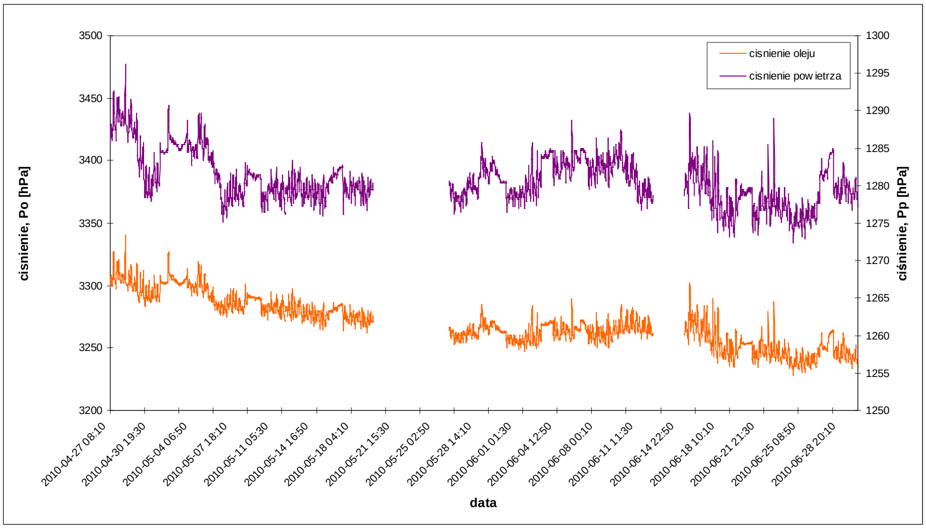


Rys. 2. Wyniki pomiarów zmian ciśnienia w okresie od lutego do czerwca 2010 r.

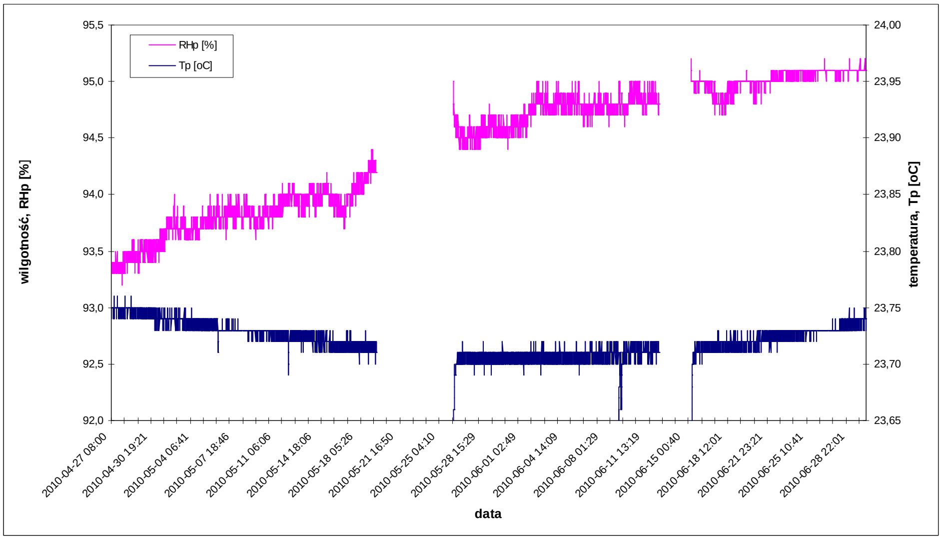


Rys. 3. Wyniki pomiarów zmian temperatury i wilgotności w okresie od lutego do czerwca 2010 r.

Na dokładniejszą analizę prezentowanych wyników pozwalają wykresy zamieszczone na rysunkach 4 i 5. Wybrany odcinek obejmujący stały poziom mierzonej temperatury i odpowiadające jej zmiany wartości ciśnienia i wilgotności wprost wskazują na względną stałość warunków termicznych pomiarów oraz dominującą i bezpośrednią zależność ciśnienia od zmian objętościowych medium gazowego w otworze. Warto także zwrócić uwagę na dużą zgodność zmian ciśnienia medium gazowego w otworze ze zmianami ciśnienia oleju w zbiorniku sondy uszczelniającej, który pozostaje w ścisłym kontakcie ze ściankami otworu.



Rys. 4. Wyniki pomiarów zmian ciśnienia w okresie od kwietnia do czerwca 2010 r.



Rys. 5. Wyniki pomiarów zmian temperatury i wilgotności w okresie od kwietnia do czerwca 2010 r.

3. Termodynamiczna analiza mierzonych wielkości

Zakładając, że wydzielona część otworu wiertniczego, w której prowadzono pomiary ciśnienia i temperatury jest uszczelniona i nie ma bezpośredniego połączenia z atmosferą w wyrobisku kopalnianym, można związek pomiędzy ciśnieniem, temperaturą i objętością opisać równaniem stanu gazu w postaci [6]:

$$pV = aT\ , \tag{1}$$

gdzie: p jest ciśnieniem, V objętością wydzielonej części otworu wiertniczego, T temperaturą powietrza wyrażoną w kelwinach i a jest stałym współczynnikiem proporcjonalności zależnym od ilości powietrza w wydzielonej części otworu wiertniczego.

Równanie (1) z dobrym przybliżeniem opisuje związek pomiędzy powyższymi wielkościami fizycznymi przy założeniu, że wielkości te zmieniają swoje wartości w stosunkowo niewielkim zakresie, co ma miejsce w rozpatrywanym przypadku.

Względna zmiana ciśnienia $\dfrac{dp}{p}$ jest zależna od zmiany temperatury dT i zmiany objętości dV. Przekształcając zależność (1) można zapisać:

$$p = \frac{aT}{V}\ , \tag{2}$$

skąd:

$$dp = \frac{a}{V}dT - \frac{aT}{V^2}dV \qquad (3)$$

Względną zmianę ciśnienia dp/p w funkcji temperatury i objętości można więc wyrazić zależnością:

$$\frac{dp}{p} = \frac{\frac{aT}{V}dT - \frac{aT}{V^2}dV}{\frac{aT}{V}} = \frac{dT}{T} - \frac{dV}{V} \qquad (4)$$

Zależność (4) pozwala na ocenę, w jakim stopniu obserwowane zmiany ciśnienia mogą być wywołane zmianami temperatury. Zakładając, że zmiany ciśnienia są spowodowane tylko zmianami temperatury można zapisać:

$$\Delta p = p\frac{\Delta T}{T} \qquad (5)$$

Przyjmując odpowiednio z wykresów zmian ciśnienia powietrza (rys. 4) p = 1280 hPa oraz zmian temperatury (rys. 5) T = 23,7 ℃ ≈ 296,9 K, dla ΔT = 0,01 K otrzymuje się wartość:

Δp = 4,3 Pa.

Przytoczone obliczenia wskazują jednoznacznie, że zmiany ciśnienia wywołane zmianami temperatury są o około 2 rzędy wielkości mniejsze od obserwowanych (Δp ≈ 500 Pa), co pozwala na wykluczenie zmian temperatury jako czynnika powodującego obserwowane zmiany ciśnienia.

4. Podsumowanie

Przedstawione wstępne wyniki pomiarów uzyskane na podstawie opracowanej termodynamicznej metody oceny deformacji górotworu wskazują na słuszność przyjętych założeń, na których przedmiotowa metoda jest oparta [1,2]. Potwierdzają one przypuszczenie, że obserwowane zmiany ciśnienia medium gazowego w otworze badawczym można głównie wiązać ze zmianami jego objętości, które z kolei są pochodną deformacji objętościowych zachodzących w masywie skalnym. Bardzo pozytywnym elementem, który został wykazany w trakcie prowadzonych badań jest fakt pomijalnego wpływu temperatury na powyższą zależność. Interesującym od strony fizycznej jest uzyskana zgodność obserwowanych zmian ciśnienia i wilgotności, co potwierdza niebagatelne znaczenie tego czynnika termodynamicznego na proces deformacji.

Literatura

[1] Butra J., Grzebyk W., Pytel W., Stolecki L., 2009, Fizyczne podstawy oraz techniczny sposób realizacji termodynamicznej metody oceny stanu deformacji ośrodka skalnego, Rudy i Metale Niezależne, nr 7, s. 391-396.

[2] Grzebyk W., Stolecki L, 2010, Identyfikacja procesów termodynamicznych zachodzących w górotworze pod kątem oceny zagrożenia zjawiskami dynamicznymi, Górnictwo i Geoinżynieria, zeszyt 2, s. 289-295.

[3] Jakubów A., Topolnicki J., Wierzbicki M., 2004, Uwagi o mechanizmach prowadzących do inicjacji wyrzutu w kopalniach węgla kamiennego, Materiały XXVII ZSMG, s. 661-669, Zakopane.

[4] Miłek M., 2006, Metrologia elektryczna wielkości nieelektrycznych, Oficyna Wydawnicza Uniwersytetu Zielonogórskiego.

[5] Ryncarz T., 1993, Zarys Fizyki Górotworu, Śląskie Wydawnictwo Techniczne, Katowice.

[6] Staniszewski B., 1978, Termodynamika, PWN Warszawa.

Characteristic thermodynamic gas phase of rock mass during mining operations

Key words: rock mass deformation, thermodynamic process, seismic events

The article discusses the work on developing the method for thermodynamic evaluation of rock mass deformation carried out in KGHM CUPRUM Ltd Research & Development Centre. Measurements were carried out in Polish copper mines. The initial results of measurements of thermodynamic parameters of the gas phase of rock mass are presented in the paper. These results provide the basis for the description of deformation process. The ranges of pressure and temperature changes that were measured, were the subject of quantitative analysis. The analysis showed that changes in pressure do not depend on temperature and are the result of changes occurring in the subsurface.